

# **Bases Fisiológicas para a Distribuição de Clones de *Eucalyptus globulus* Labill. por Diferentes Áreas Edafo-Climáticas**

**F. Costa e Silva\*, A. Shvaleva, J. A. Araújo, M.H. Almeida, M.M. Chaves e J.S. Pereira**

\* Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda 1349-017 Lisboa, Portugal

## **Introdução**

O *Eucalyptus globulus* Labill., pela sua importância económica, encontra-se distribuído por todos os países de clima favorável, reflectindo o interesse que têm as suas características intrínsecas como sejam um rápido crescimento e uma superior qualidade da madeira para produção de pasta para papel. Em Portugal, a relevância económica desta espécie traduz-se quer em termos de uma contribuição positiva para a balança comercial quer em termos do investimento feito na plantação de novas áreas florestais. No entanto, devido à restrição ao aumento da área de plantações verifica-se uma crescente exigência em aumentar a produtividade das áreas plantadas, garantindo a sustentabilidade económica, social e ambiental dos ecossistemas florestais. Actualmente, a área clonal de *E. globulus* é de aproximadamente 15000 ha tendo vindo a aumentar nos últimos anos cerca de 2000 ha por ano, como resultado das melhores técnicas de propagação e dos programas de melhoramento. Uma vez que o nº de clones comercialmente interessantes para a produção e que são utilizados em plantações tem tendência a ser reduzido, torna-se necessário deter um conhecimento mais aprofundado das suas respostas fisiológicas de forma a reduzir o risco inerente a uma diminuição da diversidade genética. Particularmente, e porque em Portugal as plantações ocorrem em áreas onde ocorrem défices hídricos sazonais, havendo uma grande variabilidade interanual no stress hídrico e sendo previsível um agravamento da aridez num futuro próximo, é necessário conhecer detalhadamente os mecanismos de resistência ao stress hídrico de forma a sustentar as decisões de distribuição dos clones por diferentes regiões edafo-climáticas.

Este trabalho constitui um primeiro passo para o aprofundamento do conhecimento dos processos fisiológicos, de modo a identificar características biológicas que sirvam de referência à selecção de genótipos, permitindo uma consolidação dos resultados obtidos nos ensaios de campo e, portanto, uma mais ajustada distribuição dos clones pelos seus locais de plantação e crescimento futuro. Especificamente, avaliaram-se em condições controladas os mecanismos de resistência à secura em dois clones de *Eucalyptus globulus* Labill. com diferente sensibilidade à secura no campo, com base em estudos fisiológicos, biofísicos e morfológicos.

## **Material e Métodos**

Utilizaram-se dois clones de *Eucalyptus globulus* Labill. (CN5-tolerante à secura e ST51-sensível à secura) do programa de melhoramento desenvolvido pelo RAIZ (Instituto de Investigação da Floresta e Papel). Estes clones foram seleccionados com base em observações feitas em ensaios clonais de campo sujeitos a défices hídricos estivais, onde o clone CN5 apresentou uma maior taxa de sobrevivência (17%) e de crescimento (14%) quando comparado com o clone ST51. Produziram-se estacas enraizadas dos dois clones em contentores de plástico num substrato de turfa (60%) e esferovite (40%), sendo transplantadas aos 11 meses para vasos de 10 l contendo areia fina. Um mês após a

transplantação, 32 plantas por clone foram transferidos do viveiro para uma estufa com ambiente controlado: 22/16 °C (dia/noite) e humidade relativa de aproximadamente 60%. Dezas seis plantas por clone foram atribuídas a um tratamento bem regado (WW; água fornecida igual às perdas por transpiração) e a um tratamento de stress hídrico (WS; água fornecida igual a 50% das perdas por transpiração). Cada vaso foi envolvido num saco de plástico negro atado ao caule da planta de modo a impedir a evaporação do solo. O ensaio foi seguido durante 7 semanas (9 de Setembro a 29 de Outubro, 2002). Todas as plantas foram regadas à capacidade de campo no primeiro dia e duas vezes por semana até ao fim do ensaio.

Durante o ensaio mediu-se a taxa de transpiração, a condutância estomática e o potencial hídrico foliar de madrugada ( $\Psi_{pd}$ ) e ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ). Determinaram-se vários parâmetros morfológicos: altura, diâmetro, número de ramificações, área foliar total, expansão da área foliar individual, comprimento total das raízes e partição da biomassa. As propriedades hidráulicas das raízes foram determinadas através da medição estabilizada do fluxo hídrico radicular pelo método da pressão hidrostática (Wan et al. 1999, Wan and Zwiazek 1999). Para uma descrição detalhada dos métodos empregues consultar Costa-e-Silva et al. 2004.

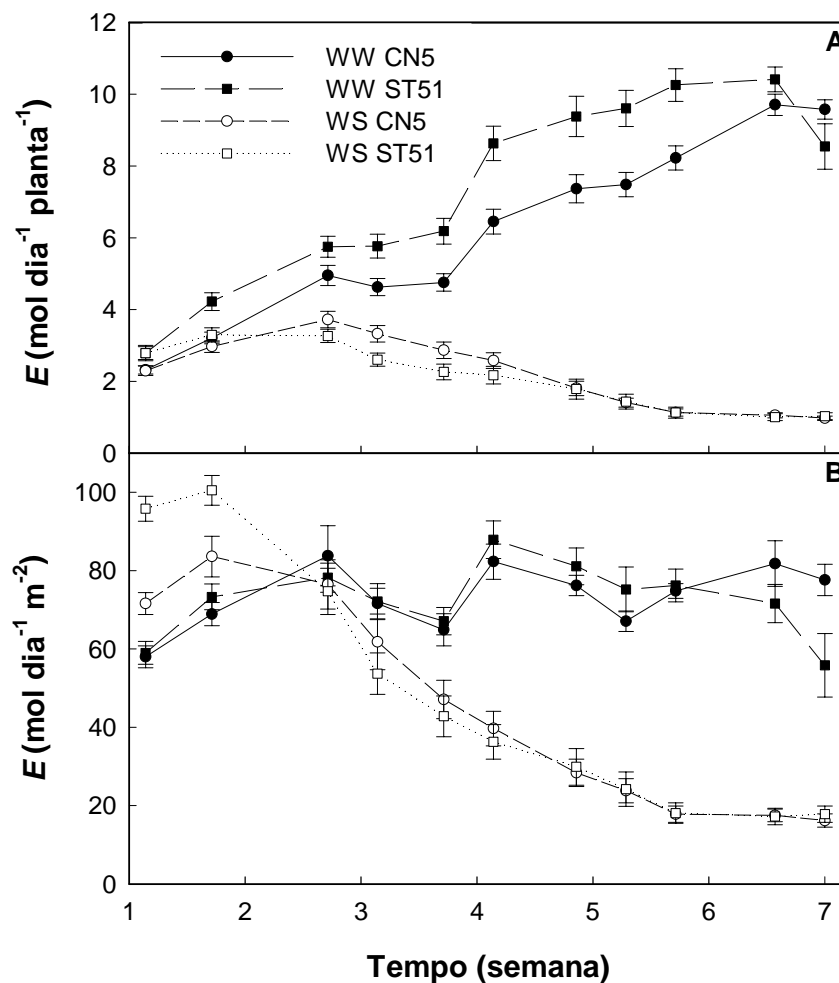
## Resultados e Discussão

Os resultados mostraram uma redução de cerca de 46% no crescimento em biomassa das plantas de ambos os clones de eucalipto quando se forneceu apenas 50% da água perdida por transpiração. Este tratamento resultou num decréscimo de 63% da área foliar e de 45% na razão entre a área foliar e a biomassa total relativamente aos valores das plantas control bem regadas dos dois clones (Quadro 1). Além da redução da área foliar, a condutância estomática foi diminuindo ao longo do ensaio contribuindo para o decréscimo do crescimento devido a uma menor da assimilação do carbono (Figura 1 e 2C).

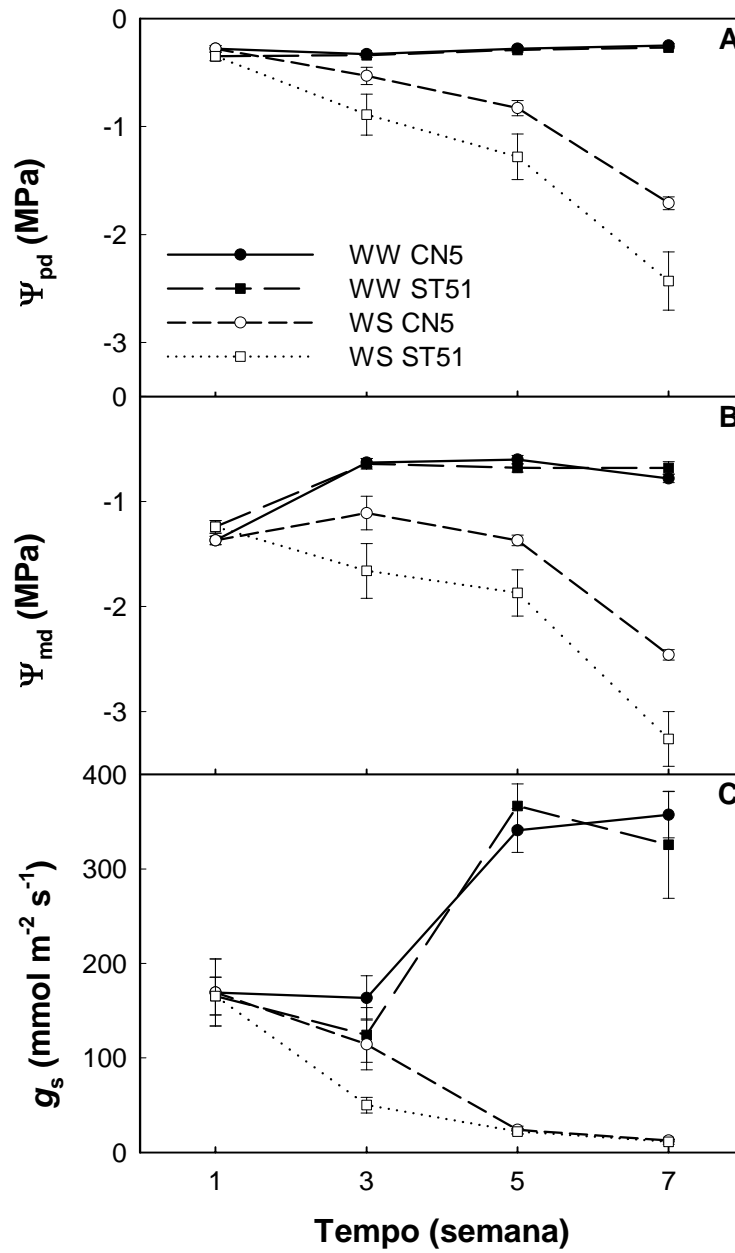
Quadro 1. Biomassa total, área foliar, nº de ramificações e comprimento radicular por planta, partição em biomassa (percentagem da biomassa total) e análise do crescimento foliar em plantas bem regadas (WW) e em stress hídrico (WS) de dois clones de *Eucalyptus globulus* avaliados na 7ª semana do ensaio. Os dados são médias  $\pm$  SE ( $n=5$ ). Os asteriscos \*, \*\*, \*\*\* representam a significância a  $P = 0.05$ , 0.01 e 0.001, respectivamente; ns = não significante com  $P = 0.05$

Característica Morfológica	WW CN5	WW ST51	WS CN5	WS ST51	ANOVA a dois factores		
					Clone (C)	Regime hídrico (W)	C x W
Biomassa total (g. planta <sup>-1</sup> )	15.4 $\pm$ 1.1	18.7 $\pm$ 1.6	9.2 $\pm$ 0.6	9.3 $\pm$ 0.4	ns	***	ns
Área foliar (m <sup>2</sup> . planta <sup>-1</sup> )	0.12 $\pm$ 0.00	0.16 $\pm$ 0.00	0.05 $\pm$ 0.00	0.05 $\pm$ 0.003	**	***	**
Nº de ramificações por planta	7	8	5				
Comprimento radicular (m. planta <sup>-1</sup> )	10.8 $\pm$ 0.6	10.0 $\pm$ 0.3	6.2 $\pm$ 0.7	5.6 $\pm$ 0.5	ns	***	ns
Partição em biomassa	111 $\pm$ 10	121 $\pm$ 21	98 $\pm$ 13	59 $\pm$ 4	ns	*	ns
Caule (%)	27.8 $\pm$ 1.5	23.8 $\pm$ 1.2	31.7 $\pm$ 1.3	35.4 $\pm$ 1.3	ns	***	*
Ramificações (%)	5.3 $\pm$ 0.22	6.4 $\pm$ 0.24	1.7 $\pm$ 0.63	2.8 $\pm$ 0.52	*	***	ns
Folhas (%)	51.4 $\pm$ 1.6	56.0 $\pm$ 1.1	46.8 $\pm$ 2.3	48.4 $\pm$ 1.3	ns	**	ns
Raízes (%)	15.5 $\pm$ 0.8	13.7 $\pm$ 1.2	19.8 $\pm$ 1.7	13.5 $\pm$ 0.8	**	ns	ns
Análise do crescimento foliar							
Razão de área foliar (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	8.1 $\pm$ 0.3	8.8 $\pm$ 0.5	5.8 $\pm$ 0.3	5.7 $\pm$ 0.3	ns	***	ns
Área foliar específica (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	15.6 $\pm$ 0.3	15.7 $\pm$ 0.6	12.4 $\pm$ 0.3	11.8 $\pm$ 0.4	ns	***	ns
Área foliar / área radicular	0.98 $\pm$ 0.10	1.12 $\pm$ 0.13	0.55 $\pm$ 0.12	0.76 $\pm$ 0.08	ns	**	ns

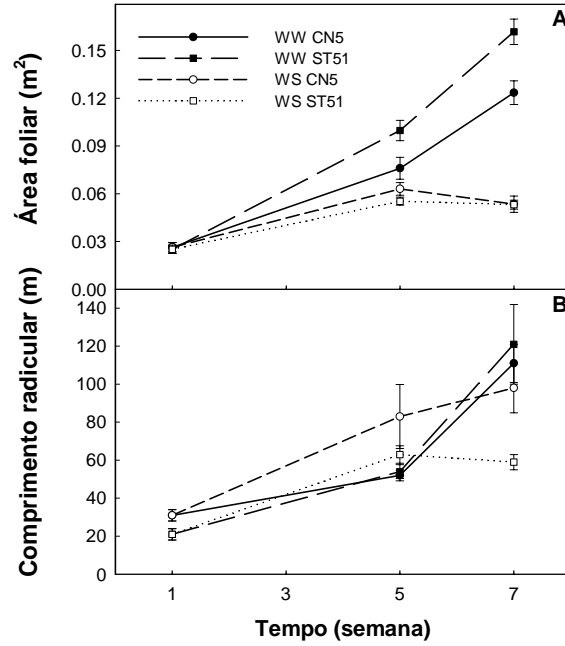
O clone CN5 em resposta ao stress hídrico mostrou maiores valores de  $\Psi_{pd}$  e de  $\Psi_{md}$  do que o clone ST51, indicando um estado hídrico foliar mais favorável como resultado de um maior fornecimento de água (Figura 1 e 2). Em condições de secura as plantas CN5 evidenciaram ainda um maior crescimento radicular (Figura 3B) e uma maior expansão das folhas jovens (Figura 4) do que as plantas ST51. Até à 5ª semana o aumento do comprimento radicular foi maior nas plantas em stress hídrico do que nas plantas bem regadas em ambos os clones (Figura 3B), indicando que o stress hídrico promoveu o crescimento radicular relativamente ao crescimento foliar (Hsiao and Xu 2000; Sharp 1990). Foram referidos resultados semelhantes por Blum et al. 1983 e por McDonald and Davies 1996. O aumento da partição de biomassa para as raízes pode dever-se a uma redução induzida pelo stress hídrico da força do sumidouro dos tecidos aéreos da planta, levando a uma maior disponibilidade de assimilados para o crescimento radicular.



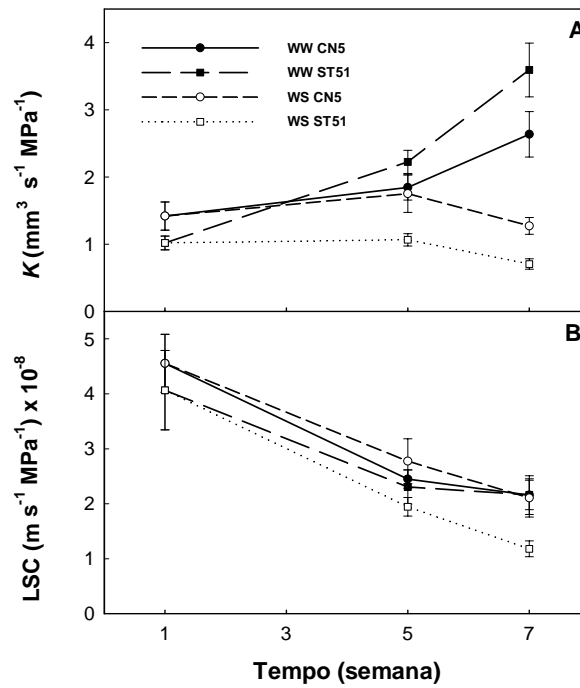
**Figura 1.** Taxa de transpiração foliar ( $E$ ) expressa por planta (A) e por área foliar (B) em plantas bem regadas (WW) e em stress hídrico (WS) de dois clones de *Eucalyptus globulus* (CN5-tolerante à secura e ST51-sensível à secura). Médias  $\pm$  SE ( $n=11-16$ )



**Figura 2.** Potencial hídrico foliar de madrugada ( $\Psi_{pd}$ ; A), potencial hídrico foliar ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ; B) e condutância estomática ao meio-dia ( $g_s$ ; C) em plantas bem regadas (WW) e em stress hídrico (WS) de dois clones de *Eucalyptus globulus* (CN5-tolerante à secura e ST51-sensível à secura). Médias  $\pm$  SE ( $n=6$ )



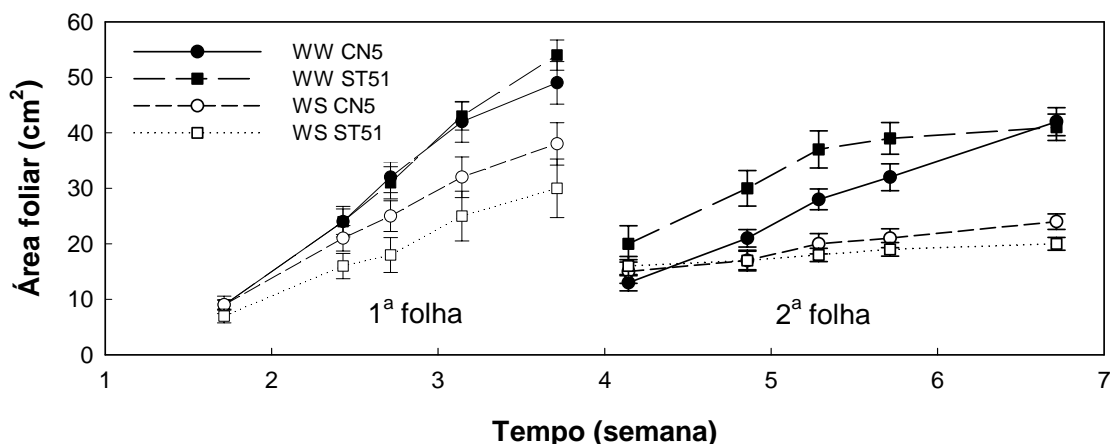
**Figura 3.** Área foliar total (A) e comprimento radicular total (B) em plantas bem regadas (WW) e em stress hídrico (WS) de dois clones de *Eucalyptus globulus* (CN5-tolerante à secura e ST51-sensível à secura). Médias  $\pm$  SE ( $n=5$ ).



**Figura 4.** Expansão da área foliar medida na 1ª e 2ª folha que cresceram depois do início do ensaio em plantas bem regadas (WW) e em stress hídrico (WS) de dois clones de *Eucalyptus globulus* (CN5-tolerante à secura e ST51-sensível à secura). Médias  $\pm$  SE ( $n=6$ ).

Quando comparado com o clone ST51, o clone CN5 revelou um maior desenvolvimento do sistema radicular antes da imposição do stress hídrico, sugerindo que esta característica explicará parcialmente a maior tolerância à seca deste genótipo. As plantas CN5 sob stress hídrico mostraram também um maior e contínuo crescimento radicular até à 7ª semana, enquanto que o crescimento radicular das plantas ST51 se deteve completamente a partir da 5ª semana (Figura 3B). Deste modo, concluímos que o maior sistema radicular inicial do clone CN5, juntamente com a sua capacidade de rapidamente aumentar a proporção de biomassa distribuída para as raízes, resultando numa optimização da relação entre a área de transpiração e da área de absorção em condições de seca, explica a sua maior resistência à seca quando comparado com o clone ST51. Podemos prever também que em condições de campo, onde o volume de solo é ilimitado, um maior investimento na extensão do sistema radicular em condições de seca levará ainda a maiores benefícios uma vez que permitirá ao clone CN5 aceder a inexplorados volumes de solo, aumentando a absorção de água.

O transporte da água nas árvores é regulado pela condutância hidráulica do percurso entre o solo, raiz, caule e folha. A condutância estomática e a fotossíntese dependem do transporte da água do solo à folha e para a atmosfera, implicando que alterações na condutância hidráulica da árvore podem influenciar as trocas gasosas (Hubbard et al. 1999; Tyree and Ewers 1991). É possível que, com a intensificação do stress hídrico a partir da 5ª semana, se tenha desenvolvido uma limitação hidráulica – particularmente no clone ST51 – que tenha reduzido consideravelmente a expansão das folhas jovens e o crescimento radicular. Durante a imposição do stress hídrico, as plantas ST51 mostraram uma maior limitação no fornecimento de água às folhas, com valores mais baixos de condutância hidráulica das raízes e de condutância foliar específica (Figura 5A e 5B) do que as plantas CN5.



**Figura 5.** Condutância hidráulica radicular ( $K$ ; A) e condutância foliar específica (LSC; B) em plantas bem regadas (WW) e em stress hídrico (WS) de dois clones de *Eucalyptus globulus* (CN5-tolerante à seca e ST51-sensível à seca). Médias  $\pm$  SE ( $n=5$ ).

Podemos assumir que as plantas em stress hídrico foram sujeitas a perdas de condutância como resultado de embolismos e cavitações, dados os baixos valores de potencial hídrico xilémico atingidos e os altos valores de condutância hidráulica verificados nas plantas bem regadas durante o ensaio. Na 5ª semana, para uma semelhante dimensão do sistema radicular entre as plantas ST51 dos dois tratamentos hídricos (Figura 3B), as plantas em stress hídrico deste clone exibiram uma condutância hidráulica radicular significativamente mais baixa (-52%) do que as plantas bem regadas, que será devida possivelmente a fenómenos de cavitação.

## **Conclusão**

A imposição do défice hídrico levou a um decréscimo geral do crescimento e a reduções significativas da área foliar específica, e da razão entre área foliar e área radicular. Durante o ensaio de secura o clone CN5 apresentou um melhor estado hídrico das folhas, manteve uma taxa de crescimento mais elevada (expansão da área foliar e crescimento radicular) e uma maior alocação de carbono para o sistema radicular. A diferente tolerância à secura dos clones baseou-se principalmente nas diferentes respostas relativamente ao crescimento das raízes e nas alterações das propriedades hidráulicas, permitindo ao clone CN5 equilibrar a transpiração e a absorção de água em condições de secura e assim prolongar o período de assimilação activa de carbono. Estes resultados confirmam a correcta utilização deste clone em ambientes mais sujeitos a stress hídrico.

## **Referências Bibliográficas**

- Blum, A., J. Mayer and G. Gozlan 1983. Association between plant production and some physiological components of drought resistance in wheat. *Plant, Cell and Environment*. 6:219-225.
- Costa-e-Silva, F., A. Shvaleva, J.P. Maroco, M.H. Almeida, M.M. Chaves and J.S. Pereira 2004. Responses to water stress in two *Eucalyptus globulus* clones differing in drought tolerance. *Tree physiology*. 24:1165-1172.
- Hsiao, T.C. and L.K. Xu 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*. 51:1595-1616.
- Hubbard, R.M., B.J. Bond and M.G. Ryan 1999. Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old *Pinus ponderosa* trees. *Tree Physiology*. 19:165-172.
- McDonald, A.J.S. and W.J. Davies 1996. Keeping in touch: Responses of the whole plant to deficits in water and nitrogen supply. *In Advances in Botanical Research*. Academic Press Limited, pp. 22:229-300.
- Sharp, R.E. 1990. Comparative sensitivity of root and shoot growth and physiology to low water potentials. *In Importance of Root-to-Shoot Communication in the Response to Environmental Stress* Eds. W.J. Davies and B. Jeffcoat. British Society for Plant Growth Regulation, Bristol, pp. 29-44.
- Tyree, M.T. and F.W. Ewers 1991. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist*. 119:345-360.

- Wan, X., S.M. Landhäusser, J.J. Zwiazek and V.L. Lieffers 1999. Root water flow and growth of aspen (*Poppulus tremuloides*) at low root temperatures. Tree Physiology. 19:879-884.
- Wan, X. and J.J. Zwiazek 1999. Mercuric chloride effects on root water transport in aspen seedlings. Plant Physiology. 121:939-946.